

Reconstitution de la dynamique des avalanches dans le Nanztal et le Lötschental (Valais) par méthodes dendrogéomorphologiques

Markus Stoffel¹, *, Michelle Bollschweiler¹, Gion-Reto Hassler¹ et Michel Monbaron¹

Bull. Murithienne 125: 89-97 (2008)

Dans les forêts de protection, des arbres sont régulièrement blessés, étêtés ou courbés par les avalanches. Les traces de tels événements sont encore visibles extérieurement après plusieurs années; elles sont également attestées par des perturbations de croissances caractéristiques, visibles dans les cernes de croissance annuels des arbres. Grâce à l'analyse et à la datation de ces perturbations de croissance, il est possible de reconstituer à l'année près d'anciens événements. En étudiant la position des arbres blessés le long d'un couloir ou sur un cône avalancheux, on parvient à définir aussi l'extension spatiale de très anciennes avalanches. La présente étude décrit des exemples situés dans le Nanztal et le Lötschental, dans lesquels l'examen attentif de mélèzes (*Larix decidua* Mill.) et de épicéas (*Picea abies* (L.) Karst.) a permis de tirer d'intéressantes conclusions concernant le comportement des avalanches.

Dendrogeomorphologische Rekonstruktion der räumlich-zeitlichen Lawindynamik im Nanz- und Lötschental. In Schutzwäldern werden Bäume regelmässig durch Lawinen verletzt, geköpft oder geknickt. Die Spuren solcher Ereignisse sind noch nach Jahren von aussen sichtbar und werden auch im Jahrringbild der Bäume in Form von charakteristischen Wachstumsstörungen gespeichert. Durch die Analyse und Datierung der Wachstumsstörungen der betroffenen Bäume lassen sich alte Ereignisse jahrgenau rekonstruieren. Durch eine flächendeckende Untersuchung der Bäume entlang von Rinnen oder auf Kegeln lässt sich auch das räumliche Verhalten von längst vergangenen Lawinen aufzeigen. Im vorliegenden Beitrag werden Beispiele aus dem Nanz- und dem Lötschental präsentiert, wo durch die detaillierte Untersuchung von Lärchen (*Larix decidua* Mill.) und Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) umfangreiche Rückschlüsse zum Verhalten der Lawinen gezogen werden konnten.

dendrogéomorphologie: subdivision de la dendrochronologie* qui utilise les informations contenues dans des cernes pour étudier et dater des processus géomorphologiques tels que les glissements de terrain, chutes de pierres, laves torrentielles, avalanches, etc.

dendrochronologie: ensemble des techniques qui permettent de dater des arbres grâce au décompte des cernes de croissance annuels. Elle inclut l'étude de la structure de cernes datés, ainsi que les applications des informations ainsi obtenues à certaines disciplines historiques et aux sciences environnementales.

tordeuse grise du mélèze: chenille d'un papillon qui est à l'origine de dégâts spectaculaires qui se manifestent périodi-

quement chez les mélézins des hautes vallées alpines par la coloration brune des arbres en été.

série chronologique: valeurs moyennes, sur plusieurs séries de cernes, d'une caractéristique de croissance. Ces valeurs sont exprimées en fonction du temps et datées de façon absolue.

bois de réaction: bois anormal, généralement formé de cellules à structure particulière. Le tissu formé présente de façon générale une forte densité et se trouve le plus souvent sur le côté comprimé chez les conifères.

canaux résinifères: chez certains conifères, long canal intercellulaire entouré de tissu sécréteur et contenant de la résine.
tissu calleux: amas de cellules parenchymatiques autour d'une blessure.

Mots clés

avalanche, arbre, perturbation de la croissance, blessure, dendrogéomorphologie, mélèze, épicéa

Schlüsselwörter

Lawine, Baum, Wachstumsstörung, Verletzung, Dendrogeomorphologie, Lärche, Fichte

¹ Laboratoire de Dendrogéomorphologie (Dendrolab.ch), Département de Géosciences, Université de Fribourg, Pérolles, 1700 Fribourg

INTRODUCTION

Dans les régions alpines, la forme ainsi que l'architecture des forêts de protection, sont très souvent influencées par la neige, qui favorise la croissance des espèces s'adaptant à cet environnement et élimine les espèces qui ne supportent pas ces conditions. En outre, les arbres souffrent souvent du poids considérable de la neige mouillée qui reste collée aux branches. La neige glissante peut tordre les branches et les avalanches peuvent les casser (SCHWEINGRUBER 1996). Un arbre ayant été perturbé par une avalanche garde souvent des traces visibles, sous forme de cicatrices, d'étêtage de la couronne, de branches arrachées ou d'inclinaison du tronc. Les arbres qui survivent à de tels impacts cherchent immédiatement à s'adapter à la nouvelle situation, en réduisant leur activité de croissance, en recouvrant graduellement leurs cicatrices, ou encore en se redressant. Par conséquent, chacun de ces changements dans l'activité de la croissance va se répercuter dans la séquence des cernes annuels de l'arbre.

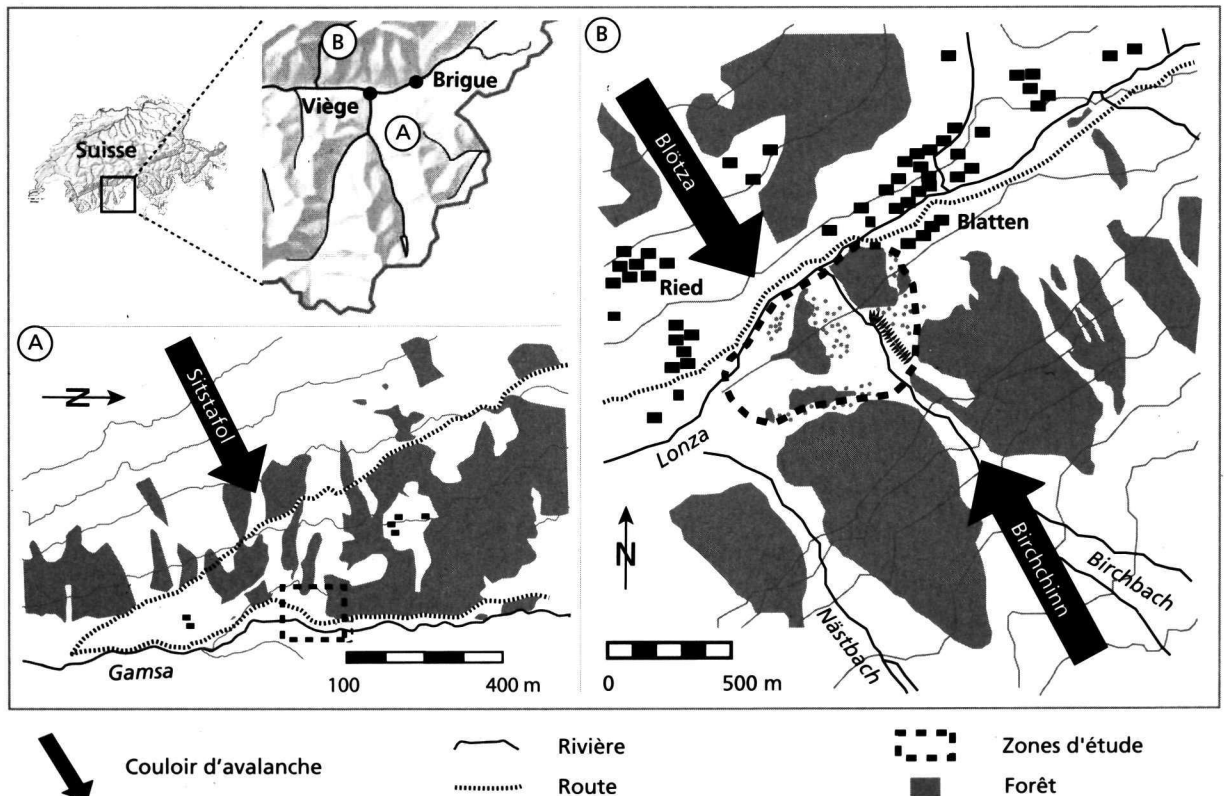
La **dendrogéomorphologie*** (les termes marqués par une étoile sont définis dans le glossaire) est une méthode qui date les événements géomorphologiques du passé, au moyen des anomalies de croissance visibles dans les séries chronologiques des cernes. Cette approche a déjà fait ses preuves dans l'étude et la datation de divers types de dangers naturels, tels que les glissements de terrain (FANTUCCI & SORRISO-VALVO 1999, STEFANINI 2004), les chutes de pierres (STOFFEL 2005, STOFFEL *et al.* 2005a, b),

les inondations (LEPAGE & BÉGIN 1996, ST. GEORGE & NIELSON 2003) et les laves torrentielles (BAUMANN & KAISER 1999, STOFFEL *et al.* 2004, 2008, BOLLSCHEWEILER & STOFFEL 2007, BOLLSCHEWEILER *et al.* 2007).

Dans le domaine de recherche des avalanches, la méthode a notamment été utilisée aux Etats-Unis (BUTLER *et al.* 1992, RAYBACK 1998, HEBERTSON & JENKINS 2003) et au Canada (SCHAERER 1972, JOHNSON *et al.* 1985, MORIN & PAYETTE 1985), afin de reconstruire la fréquence des anciens événements ou les zones affectées par eux.

Par contre, la dendrogéomorphologie, rarement appliquée pour analyser l'étendue d'événements sur des cônes d'avalanches, a été utilisée pour étudier la dynamique spatio-temporelle des avalanches sur deux cônes situés dans les Alpes valaisannes. Après avoir précisé les caractéristiques des terrains analysés, l'article rappelle les principes de l'analyse dendrogéomorphologique, suivis par une présentation ainsi qu'une discussion des résultats obtenus.

FIGURE 1 – Carte de situation.



LES SITES D'ÉTUDE

Les avalanches du «Sitstafol» dans le Nanztal

Au Nanztal (fig. 2a), la reconstitution de la fréquence récente et l'étendue minimale des avalanches, se concentrent sur le cône du couloir d'avalanche «Sitstafol». Le site d'étude couvre une superficie de 2 ha et montre un dénivelé de 60 m entre l'apex du cône (1810 m) et son pied au niveau du torrent de la Gamsa (1750 m; tabl. 1). La pente moyenne du cône est de 18 et la surface est principalement colonisée par de jeunes mélèzes (*Larix decidua* Mill.) ainsi que par des aulnes (*Alnus viridis* (Chaix) DC.). Les zones de départ des avalanches du «Sitstafol» sont principalement localisées entre 2100 et 2500 m d'altitude sur des pentes relativement raides. La surface totale pouvant contribuer à la masse d'une seule avalanche est estimée à 0.24 km² et l'épaisseur moyenne mensuelle du manteau neigeux pour le mois de mars est estimée à 100–150 cm (moyenne pour la période 1961–1990; ISM 2000).

Comme le Nanztal n'est pas habité durant l'hiver, le potentiel de dégât se limite à quelques bâtiments d'alpage. Les connaissances de la dynamique spatio-temporelle des avalanches dans cette localité restent assez limitées.

Les avalanches du «Birchchinn» et de la «Blötza» dans le Lötschental

Au Lötschental (fig. 2b), un cône affecté par des laves torrentielles et des avalanches de neige a été sélectionné pour les analyses. Les avalanches arrivant sur le cône, peuvent provenir d'au moins deux couloirs différents, du «Birchchinn» et de la «Blötza» (BELLWALD 2003, HASSLER 2004). Le tabl. 1 donne des informations sur les caractéristiques de ce site : superficie de 0.36 km², dénivelé de 160 m entre l'apex du cône (1660 m) et le fond de la vallée (1500 m). La pente moyenne du site est de 17° et la surface est principalement colonisée par des mélèzes (*Larix decidua*), des épicéas (*Picea abies*) et des aulnes (*Alnus viridis*). Les avalanches du «Birchchinn» partent généralement des flancs du Bietschhorn (3934 m), celles de la «Blötza», des flancs du Tennbächhorn. La surface totale, pouvant théoriquement contribuer à la masse d'une seule avalanche, est estimée à 2.2 km² pour le «Birchchinn» et à 1.2 km² pour la «Blötza». Aux deux endroits, l'épaisseur

moyenne mensuelle du manteau neigeux pour le mois de mars, est également estimée à 100–150 cm (moyenne pour la période 1961–1990; ISM 2000).

Comme le Lötschental est l'une des vallées les plus exposées au danger d'avalanches dans le Canton du Valais, il existe une base de données relativement importante pour les événements du passé, contenant 286 mentions d'avalanches depuis l'an 1680 (BELLWALD 2003). La chronique mentionne quatre événements pour le couloir du «Birchchinn» (décembre 1808, décembre 1993, mars 2000 et février 2002) et cinq pour celui de la «Blötza» (février 1945, janvier 1951, janvier 1955, février 1955 ainsi qu'en février 1999). Pour atténuer les effets négatifs des avalanches dans les environs du cône et pour protéger la route cantonale ainsi que le village de Blatten, une galerie de protection et une digue paravalanche ont été construites au début des années 1990.

MÉTHODES

Cartographie sur le terrain et échantillonnage

Sur les deux cônes sélectionnés, les analyses de terrain ont débuté par une cartographie des mélèzes perturbés. Ensuite, au Nanztal, 324 tranches ont été prélevées puis préparées à la menuiserie, afin d'analyser les blessures ainsi que les bourrelets cicatriciels. Au Lötschental, des carottes (longueur max. : 40 cm, Ø 6 mm) furent prélevées dans la forêt de protection, sur des mélèzes et des épicéas montrant des blessures au niveau du tronc, une croissance en candélabre, la perte d'apex ou de branches, ainsi que des arbres ayant basculé lors du passage d'une avalanche. Au total, 520 carottes furent prélevées sur 251 mélèzes et épicéas (tabl. 2), du côté amont et aval de l'arbre, à l'endroit du défaut de croissance ou, dans le cas des arbres basculés, dans le segment de l'arbre qui cherchait à se redresser.

En outre, des informations supplémentaires furent notées pour chaque arbre, concernant (I) la localisation sur le cône; (II) la morphologie et défauts visibles sur le tronc; (III) la position des échantillons prélevés (amont, aval, autre); (IV) le diamètre de l'arbre à hauteur de poitrine, ainsi que (v) des données sur les arbres avoisinants et sur la microtopographie.

BASE DE DONNÉES	NANZTAL	LÖTSCHENTAL
Surface du site d'étude (en km²)	0.01	0.36
Apex du cône (m)	1810	1660
Fond de la vallée (m)	1750	1500
Epaisseur moyenne mensuelle de neige (cm)	100-150 (mars)	100-150 (mars)

TABLEAU 1 – Caractéristiques des sites d'étude.

BASE DE DONNÉES	NANZTAL	LÖTSCHENTAL
Arbres sélectionnés	15	251
Carottes prélevées	–	520
Disques préparés	324	–

TABLEAU 2 – Échantillons prélevés sur les sites d'étude «Nanztal» et «Lötschental».

Analyse dendrogéomorphologique et avalanches

Dans les régions tempérées où le climat impose à la végétation une période de croissance et une période de repos au cours d'une même année solaire, les arbres et arbustes forment un cerne de croissance lors d'une période comprise généralement entre la fin avril et la fin septembre. Dans un premier temps, l'arbre forme des cellules larges de petite épaisseur pariétale, servant au transport de nutriments. Vers la fin de la période de végétation, les cellules deviennent plus petites et d'épaisseur pariétale plus importante, aidant ainsi à stabiliser l'arbre. Les différences dans la structure cellulaire sont visibles à l'œil nu et se manifestent par une succession de cernes plus clairs et plus foncés.

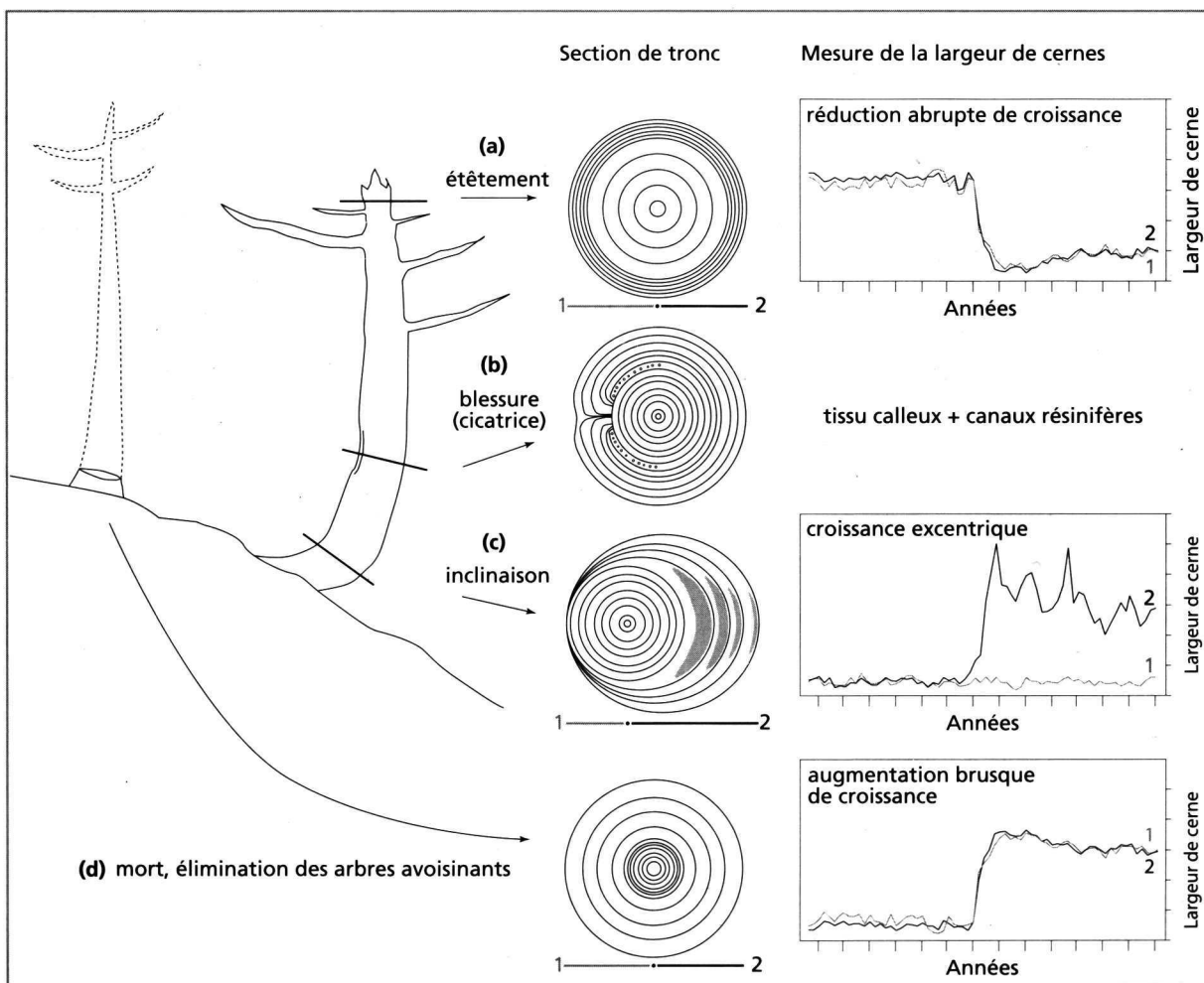
Les variations du climat et, dans le cas du mélèze, la dynamique de la *tordeuse grise du mélèze** (*Zeiraphera diniana*; WEBER 1997), sont enregistrées dans la totalité des arbres d'un site par des cernes particulièrement minces ou larges. Ces variations interannuelles de crois-

sance constituent des repères chronologiques capables de synchroniser de longues séquences de cernes. Avant de dater les événements d'avalanches dans les séries dendrochronologiques des arbres fortement perturbés, il s'agit de déterminer la croissance « normale » des arbres voisinant le cône d'avalanche mais qui n'ont pas été blessés par l'activité avalancheuse dans le passé. Les **séries chronologiques*** que l'on obtient par cette approche, sont datées de manière absolue et permettent d'identifier des anomalies de croissance dans des échantillons perturbés par les avalanches (COOK & KAIRIUKSTIS 1990).

Les échantillons ont été poncés, la largeur des cernes mesurée avec une table Lintab, un microscope stéréoscopique et le logiciel TSAP 3.0 (Time Series Analysis and Presentation; RINTECH 2006).

Les courbes de croissance (fig. 3) furent ensuite utilisées pour déterminer les événements d'avalanches. Dans

FIGURE 2 – Réactions possibles d'un arbre suite à (A) un élagage, (B) une cicatrisation, (C) un basculement du tronc et (D) une élimination d'arbres avoisinants.



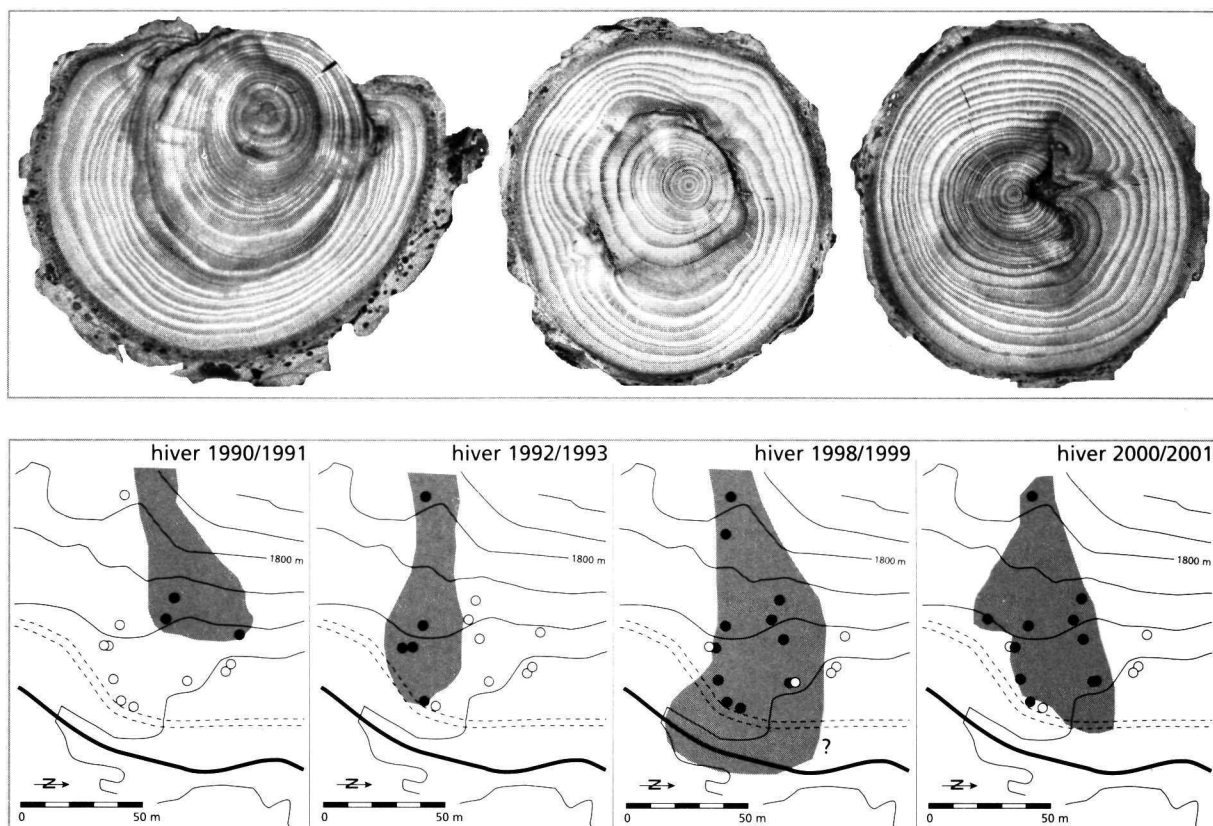


FIGURE 3 – Sections de jeunes mélèzes provenant du Nantztal (VS) qui ont été blessés par des avalanches dans le couloir du «Sitstafol».

FIGURE 4 – Répartition spatiale des arbres blessés lors de l'activité avalancheuse dans le Nantztal (VS) en (A) 1990/91, (B) 1992/93, (C) 1998/99 et en (D) 2000/01. La surface grise représente l'extension minimale des dépôts d'avalanches sur le cône.

notre cas d'étude, l'analyse s'est concentrée sur l'arrêt abrupt de la croissance de l'arbre, représentant le résultat d'un étêtage ou d'un nombre élevé de branches arrachées (SCHWEINGRUBER 1996). L'excentricité de croissance et la présence de **bois de réaction*** sont également importantes, car ces deux éléments mettent en évidence la réaction d'un arbre à un basculement (BRAAM *et al.* 1987; FANTUCCI & SORRISO-VALVO 1999). En outre, nous nous sommes intéressés aux blessures (cicatrices), aux rangées de **canaux résinifères*** (STOFFEL *et al.* 2005a, BOLLSCHWEILER *et al.* 2008) ainsi qu'au **tissu calleux***, résultat du cisaillement du cambium.

Délimitation de l'aire minimale affectée par une avalanche

La répartition et les interrelations entre les arbres affectés par l'activité avalancheuse permettent une délimitation approximative de «l'aire minimale» touchée par

un événement. Cette analyse spatiale peut aider à déterminer l'origine de l'avalanche, dans les cas où le site d'étude est affecté par plusieurs couloirs d'avalanche.

RÉSULTATS

Les avalanches du couloir «Sitstafol» (Nantztal)

L'analyse dendrochronologique de quinze mélèzes indique une végétation relativement jeune, installée sur le cône vers la fin des années 1960 et au début des années 1970. L'année de germination du plus vieil échantillon remonte à 1956, tandis que celle du plus jeune est 1997. La hauteur des arbres varie entre 70 cm et 580 cm et le diamètre à hauteur de poitrine se situe entre 4 et 17 cm.

L'analyse des 324 tranches s'est concentrée essentiellement sur l'identification et la datation d'un total de 212 blessures, ainsi que sur la présence de rangées traumatiques de canaux résinifères aux environs des impacts (fig. 4). Le bois de compression et les arrêts abrupts de la croissance confirment des événements datés antérieurement à l'aide des blessures. L'âge des mélèzes du «Sitstafol» ne couvre qu'une période de trente ans (1976 - 2005). Les avalanches de neige ont, à l'exception de l'hiver 1988/89, annuellement perturbé les arbres sélectionnés sur le cône en aval du couloir du «Sitstafol». La répartition

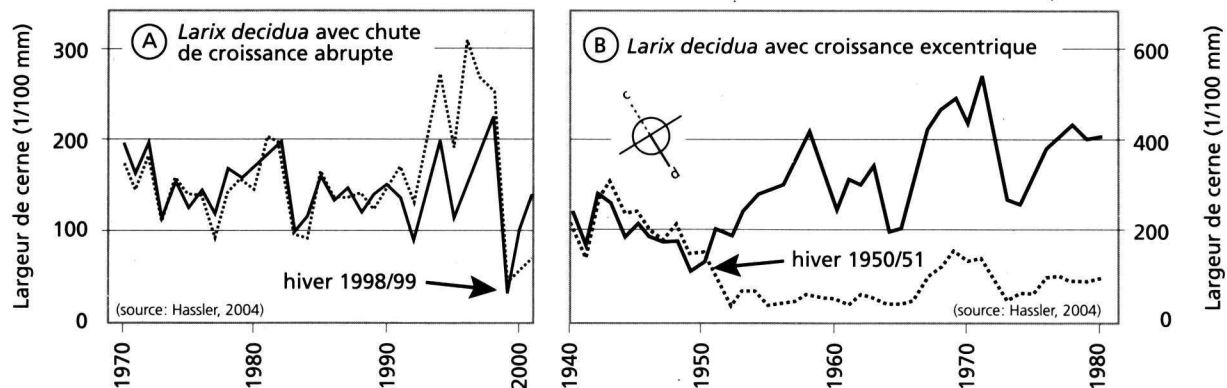


FIGURE 5 – Courbe de croissance de deux mélèzes (*Larix decidua* Mill.) échantillonnés sur le cône du Birchbach: (A) Arbre montrant une chute de croissance, suite au passage d'une grande avalanche en février 1999. (B) Arbre penché par la pression d'une avalanche en 1951.

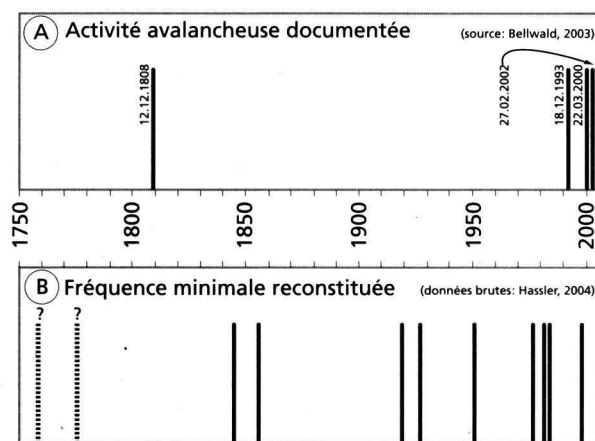


FIGURE 6 – (A) Années avec activité avalancheuse sur le cône du Birchbach, signalées dans les archives locales. (B) Fréquence minimale reconstituée des avalanches sur le cône du Birchbach au Lötschental pour la période 1750-2001. Les deux événements du XVIII^e siècle ne sont que faiblement identifiés dans les échantillons, raison pour laquelle ils sont représentés par des lignes traitillées.

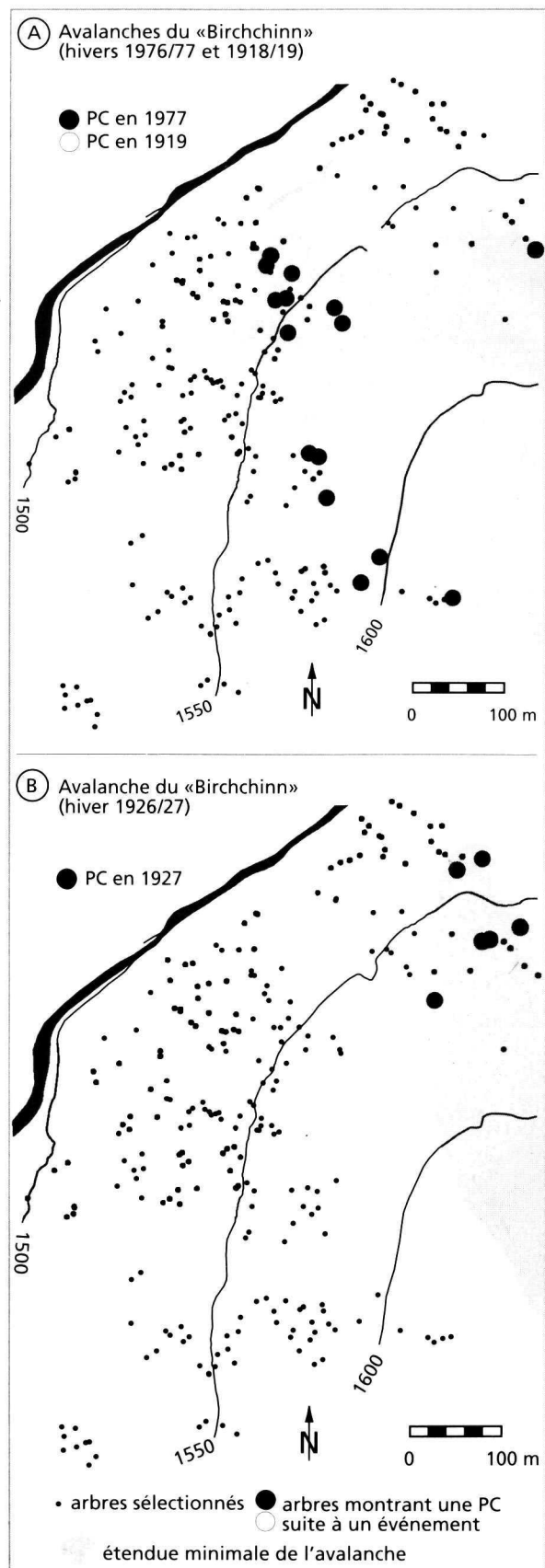
spatiale des arbres blessés (fig. 5) suggère que les événements seraient de préférence de petites avalanches de neige mouillée, illustrées par les exemples documentés des hivers 1990/91 et 1992/93. Durant ce type d'événement, les masses de neige déposées sur le cône restent relativement faibles et les dégâts causés aux arbres peuvent être le résultat de plusieurs petites avalanches consécutives. En revanche, la répartition des arbres blessés, la quantité d'aulnes penchés sur le versant opposé, les énormes masses de neige laissées sur le cône, la nature des dépôts ainsi que l'allure des blessures identifiées sur les arbres, témoignent d'une avalanche poudreuse avec une présence probable d'effets de souffle pour l'événement identifié en hiver 1998/99. Concernant les autres cas, il était moins évident d'identifier le type d'avalanche: durant l'hiver 2000/2001 par exemple, les dégâts causés aux arbres ainsi que leur répartition pourraient être le résultat d'une grande avalanche de neige mouillée ou d'une petite avalanche de neige poudreuse.

Les avalanches du «Birchchinn» et de la «Blötza» (Lötschental)

Sur le site du Lötschental, l'âge des arbres – notamment déterminé à la hauteur de poitrine et non pas au niveau du sol – indique une moyenne de 105 ans, le plus vieil arbre ayant 342 ans, le plus jeune une dizaine d'années en 2002.

La reconstitution de la dynamique spatio-temporelle des avalanches sur le cône du Birchbach a pris en compte les cicatrices et le tissu calleux voisins, la présence de rangées traumatiques de canaux résinifères, ainsi que le bois de réaction et les changements brusques de la croissance. L'analyse des carottes a montré un total de 561 perturbations de croissance (PC), le plus souvent sous forme de rangées traumatiques de canaux résinifères (61%). 7% des perturbations montrent la présence de tissu calleux et 22% concernent le bois de réaction. Les poussées et les arrêts de croissance ont totalisé 10% des perturbations identifiées. La fig. 6a met en évidence un exemple d'un court, mais abrupt arrêt de croissance d'un mélèze, suite à une avalanche durant l'hiver 1998/99. Quant à la fig. 6b, elle illustre l'excentricité dans les courbes de croissance d'un arbre penché lors d'une avalanche de l'hiver 1950/51.

Grâce aux analyses dendrogéomorphologiques, la fréquence d'événements connus pour le couloir du «Birchchinn» a été considérablement élargie, neuf années non répertoriées d'avalanches durant la période 1750-2003 ayant été mises en évidence. La fig. 7 met en présence une liste des avalanches connues par les archives, ainsi que la fréquence déterminée grâce aux analyses des cernes des arbres. Les années ajoutées à la fréquence connue des avalanches sont celles de 1983/84, 1981/82, 1976/77, 1950/51, 1926/27, 1918/19, 1854/55, 1843/44, 1776/77 et 1756/57.



L'analyse spatiale des arbres perturbés par un même événement montre clairement que, sur le cône du Birchbach, les avalanches sont, le plus souvent, déclenchées sur le versant nord-ouest du Bietschhorn (couloir du Birchchinn). La **fig. 8a** montre qu'une grande partie du cône ainsi qu'un nombre considérable d'arbres, sont normalement touchés par ces avalanches (exemples: les hivers 1976/77 et 1918/19). D'autres avalanches auraient plutôt affecté la partie centrale du cône, ce qui fut apparemment le cas lors des hivers 1983/84 et 1981/82. La **fig. 8b** illustre une autre distribution des arbres touchés par des avalanches: les perturbations identifiées dans les mélèzes et les épicéas se situent exclusivement dans la partie orientale du cône (exemple: l'hiver 1926/27). Même s'il est possible que la masse neigeuse se soit également déposée dans la partie centrale non boisée du cône, les analyses des cernes ne laissent planer aucun doute concernant l'absence de neige dans la partie occidentale.

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle des avalanches sur le cône du Birchbach a pu également mettre en évidence des perturbations causées par une très grande avalanche de la «Blötza», descendue du Tennbachhorn le 21 février 1999. La **fig. 8** souligne la surface couverte par les dépôts de l'avalanche, ainsi que l'aire affectée par son souffle. Contrairement aux attentes, l'événement de 1999 semble être la seule avalanche de la Blötza ayant occasionné des perturbations dans les mélèzes et les épicéas se trouvant sur le cône du Birchbach.

DISCUSSION

Dans les deux cas d'études présentés dans cet article, la dendrogéomorphologie a été utilisée avec succès pour identifier la dynamique spatio-temporelle des avalanches sur les cônes boisés du Sitstafol et du Birchbach. Les signatures des perturbations de croissance ont permis de dater de manière absolue (à l'année près), un nombre important d'avalanches du «Birchchinn» (Lötschental) depuis la deuxième moitié du XVIII^e siècle, ainsi que du «Sitstafol» (Nantztal) depuis 1976. Etant donné la durée limitée de la reconstitution et l'absence quasi-totale de données d'archives sur les avalanches passées issues du couloir du «Sitstafol», nous concentrerons notre commentaire essentiellement sur la dynamique spatio-temporelle des avalanches de neige des couloirs du «Birchchinn» et de la «Blötza» dans cette discussion.

Les grandes avalanches ont tendance à éliminer une partie de la forêt dans les zones les plus touchées, comme le prouve le jeune âge des mélèzes et des épicéas présents sur les cônes. L'âge des arbres qui recolonisent la partie nord du cône du Birchbach est apparemment très

FIGURE 7 – Répartition spatiale des arbres montrant des perturbations de croissance (PC) et extension minimale des avalanches sur le cône du Birchbach (A) en hiver 1918/19 ainsi qu'en 1976/77 et (B) en hiver 1926/27.

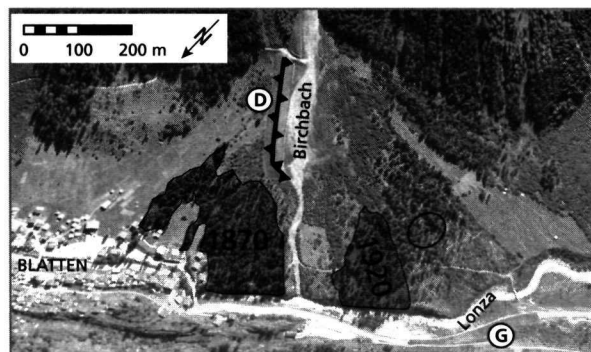
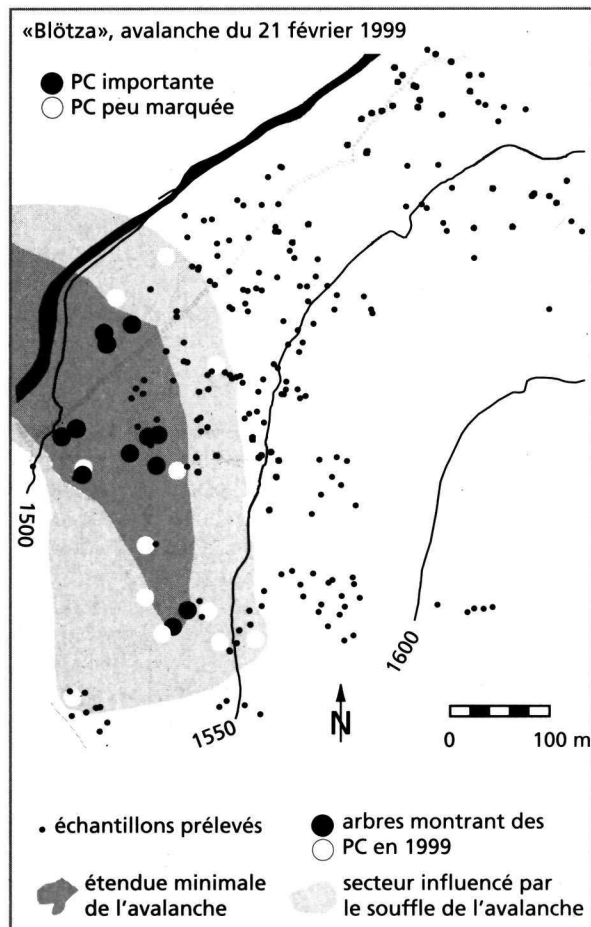


FIGURE 8 – Répartition spatiale des arbres montrant une perturbation de croissance (= PS) suite à une avalanche descendue dans le couloir de la «Blötza» en février 1999. Les zones grisées illustrent l'extension minimale des dépôts ainsi que le secteur affecté par le souffle de cette énorme avalanche.

FIGURE 9 – Structure de l'âge des arbres recolonisant le cône du Birchbach (Lötschental). La zone délimitée par une ellipse contient les plus vieux arbres.

uniforme et indique une recolonisation des surfaces dans les années 1870 (fig. 9). Il paraît donc possible que cette zone boisée, dont l'âge est quasiment uniforme, se soit installée à la suite d'une avalanche de l'hiver 1854/55. Par contre, les arbres du secteur central du cône montrent des dates de germination dans les années 1920 et sont, par conséquent, trop jeunes pour enregistrer des événements connus à travers les chroniques locales: par exemple, l'avalanche du «Birchchinn» en 1808. Par ailleurs, il est probable que des avalanches relativement petites n'atteignent pas la partie boisée du cône, empêchant, bien évidemment, une identification de l'événement dans les séries dendrochronologiques.

Les données d'archives sur l'activité des avalanches dans le couloir du Birchchinn semblent être très incomplètes pour le XVIII^e et XIX^e siècle et ne contiennent probablement que des données sur des événements destructeurs majeurs ou sur des avalanches spectaculaires, tel le sérac descendu du glacier du Bietschhorn en 1993. D'un autre côté, les années marquées par les avalanches au Lötschental (celle de 1999, par exemple), peuvent retenir l'attention et faire ressentir la force de ce phénomène naturel à la population locale. Même de petites avalanches trouvent leur place dans la chronique, notamment entre 2000 et 2003 (BELLWALD 2003). La concordance entre les données d'archives et l'activité des avalanches reconstituée par nos recherches peut être considérablement améliorée si nos résultats sont comparés avec les informations sur les événements dans d'autres couloirs du Lötschental. A l'aide de ces comparaisons, nous serions également en mesure de trouver des analogies par rapport aux événements reconstitués dans le couloir du «Birchchinn» pour les hivers 1983/84, 1981/82, 1926/27 et 1918/19.

Il est intéressant de souligner que la grande avalanche de poudreuse, descendue du couloir de la «Blötza» en 1999, représente apparemment le seul événement du Tennbachhorn ayant été en mesure de traverser la rivière Lonza et de remonter sur le cône du Birchbach. Même si l'on peut probablement considérer cette avalanche comme l'un des plus importants événements de la «Blötza», nous pensons, néanmoins, que la construction récente de la galerie pour la route cantonale, aura facilité le passage de la neige et du souffle à travers la rivière Lonza jusqu'au cône boisé du Birchbach.

CONCLUSIONS

Cet article présente des exemples d'application de la dendrologie pour la reconstitution de la dynamique spatio-temporelle des avalanches, dans le contexte de deux cas précis, au Nanztal et au Lötschental. Les événements survenus en février 1999 et la croissance du nombre d'adeptes d'activités récréatives de plein-air, mettent en valeur l'importance de se documenter davantage sur la dynamique spatio-temporelle des avalanches de neige.

REMERCIEMENTS

Ces recherches furent menées sur le territoire des communes de Visperterminen et Blatten (Lötschental). Nous remercions les administrations communales ainsi que les services forestiers d'avoir autorisé la prise d'échantillons.

BIBLIOGRAPHIE

- BAUMANN, F. & K.F. KAISER 1999. The Multetta debris fan, eastern Swiss Alps: a 500-year debris flow chronology. *Arctic Alp. Res.* 31: 128-134.
- BELLWALD M. 2003. *Lötschentaler Lawinenchronik. Schnee- und Lawinenbeobachtungen 1680–2003*. Eigenverlag, Wiler, 41 p.
- BOLLSCHWEILER, M. & M. STOFFEL. 2007. Debris flows on forested cones – reconstruction and comparison of frequencies in two catchments in Val Ferret, Switzerland. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 7: 207-218.
- BOLLSCHWEILER, M., M., STOFFEL, D.M. SCHNEUWLY & K. BOURQUI. 2008. Traumatic resin ducts in Larix decidua trees impacted by debris flows. *Tree Physiol.* 28: 255-263.
- BOLLSCHWEILER M., M. STOFFEL, M. EHMISCH & M. MONBARON 2007. Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity with dendrogeomorphological methods. *Geomorphology* 87: 337–351.
- BRAAM R.R., E.E.J. WEISS & P.A. BURROUGH 1987. Spatial and temporal analysis of mass movement using dendrochronology. *Catena* 14: 573-584.
- BUTLER, D.R., G.P. MALANSON & S.J. WALSH 1992. Snow-avalanche paths: conduits from the periglacial-alpine to the subalpine-depositional zone, pp. 185-202. In: DIXON J.C. & A.D. ABRAHAMS (eds), *Periglacial Geomorphology*. Chichester, John Wiley.
- COOK, E.R. & L.A. KAIRIUKSTIS 1990. *Methods of dendrochronology – Applications in the environmental sciences*. London, Kluwer, 394 p.
- FANTUCCI, R. & M. SORRISO-VALVO 1999. Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy). *Geomorphology* 30: 165-174.
- HASSLER, G.R. 2004 *Dendrogeomorphologische Untersuchungen am Birchbachkegel (Lötschental, Schweiz)*. Travail de diplôme. Département de Géosciences, Université de Fribourg, 115 p.
- HEBERTSON, E.G. & M.J. JENKINS 2003. Historic climate factors associated with major avalanche years on the Wasatch Plateau, Utah. *Cold Reg. Sci. Technol.* 37: 315-332.
- ISM (Institut suisse de météorologie 2000. *Atlas climatologique de la Suisse*. Edition de l'Office fédéral de topographie Wabern-Berne.
- JOHNSON, E.A., L., HOGG & C.S. CARLSON 1985. Snow Avalanche Frequency and Velocity for the Kananaskis Valley in the Canadian Rockies. *Cold Reg. Sci. Technol.* 10: 141-151.
- LEPAGE, H. & Y. BÉGIN, 1996 Tree-ring dating of extreme water level events at Lake Bienville, Subarctic Québec, Canada. *Arctic Alp. Res.* 28: 77-84.
- MORIN, H. & S. PAYETTE 1985. La dynamique récente des combes à neige du golfe de Richmond (Québec nordique): une analyse dendrochronologique. *Can. J. Bot.* 64: 2113-2120.
- RAYBACK, S.A. 1998. A dendrogeomorphological analysis of snow avalanches in the Colorado Front Range, USA. *Phys. Geogr.* 19: 502-515.
- RINNTech 2006. <http://www.rinntech.com/Products/Lintab.htm>.
- SCHAEERER, P.A. 1972. Terrain and vegetation of snow avalanche sites at Rogers Pass, British Columbia. *Brit. Columbia Geogr. Ser.* 14: 215-222.
- SCHWEINGRUBER, F.H. 1996. *Tree Rings and Environment. Dendroecology*. Bern, Stuttgart, Wien, Paul Haupt, 609 p.
- ST. GEORGE, S. & E. NIELSEN 2003. Palaeoflood records for the Red River, Manitoba, Canada, derived from anatomical tree-ring signatures. *Holocene* 13: 547-555.
- STEFANINI, M.C. 2004. Spatio-temporal analysis of a complex landslide in the Northern Apennines (Italy) by means of dendrochronology. *Geomorphology* 63: 191-202.
- STOFFEL, M. 2005. *Spatio-temporal variation of rockfall activity into forests – results from tree-ring and tree analysis*. Thèse de doctorat. Département de Géosciences, Université de Fribourg. GeoFocus 12, 188 p.
- STOFFEL, M., D. CONUS, M.A. GRICHTING, I. LIÈVRE & G. MAÎTRE. 2008. Unraveling the patterns of late Holocene debris-flow activity on a cone in the Swiss Alps: chronology, environment and implications for the future. *Global Planet. Change* 60: 222-234.
- STOFFEL, M., I. LIÈVRE, M. MONBARON & S. PERRET 2005a. Seasonal timing of rockfall activity on a forested slope at Täschgufer (Valais, Swiss Alps) – a dendrochronological approach. *Z. Geomorphol.* 49: 89-106.
- STOFFEL, M., D. SCHNEUWLY, M. BOLLSCHWEILER, I. LIÈVRE, R. DELALOYE, M. MYINT & M. MONBARON. 2005b. Analyzing rockfall activity (1600-2002) in a protection forest – a case study using dendrogeomorphology. *Geomorphology* 68: 224-241.
- STOFFEL, M., I. LIÈVRE, D. CONUS, M. GRICHTING, H. GÄRTNER & M. MONBARON 2004. Rekonstruktion der Muraktivität im Ritigraben (VS) und Vergleich mit Chronikdaten benachbarter Gewässer. *Mitt. VAW* 184: 25-40.
- WEBER, U.M. 1997. Dendroecological reconstruction and interpretation of larch budmoth (*Zeiraphera diniana*) outbreaks in two central alpine valleys of Switzerland from 1470-1990. *Trees* 11: 277-290.



